

扬子地台东南缘黑色岩系(荷塘组)地球化学研究

钱建民^{1,2}, 李海亭³, 徐岳行², 姚丽平³

1. 中国地质大学(武汉),湖北 武汉 430074;
2. 浙江省地球物理地球化学勘查院,浙江 杭州 310005;
3. 浙江省第七地质大队,浙江 杭州 310005

【摘要】 扬子地台东南缘下寒武统荷塘组地层代表性剖面,主要由硬质硅质泥岩及硅质岩类石煤层组成,黑色岩系则分布于底部,岩石为层状,岩性为磷块岩或含磷结核硅质岩,其稀土元素在含钼钒高碳泥岩中富集,稀土总量达 $233.43 \times 10^{-6} \sim 258.95 \times 10^{-6}$,其他岩层的稀土元素总量在 $89.15 \times 10^{-6} \sim 144.70 \times 10^{-6}$ 之间;相对富轻稀土,轻重稀土、轻稀土分馏作用明显,重稀土分馏作用不明显;铈、铈负异常(δEu 值 $0.55 \sim 0.71$, δCe 值 $0.46 \sim 0.88$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 平均值 $4.65 \sim 10.89$; $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 平均值 $9.55 \sim 18.44$, $(\text{Gd}/\text{Lu})_{\text{N}}$ 平均值 $0.91 \sim 1.67$)。沉积的构造环境为被动的大陆边缘,沉积环境为干燥气候的还原环境,不同的古地理条件或海平面的升降,造成了稀土元素特征的差异。

【关键词】 扬子地台东南缘;浙江;黑色岩系;荷塘组;地球化学

中图分类号:P595

文献标识码:A

文章编号:1001-6872(2010)02-0095-08

0 引言

广泛分布于扬子地台的黑色岩系,由于富含 Ni, Mo, V, Cu, U, Ba, Pt, Pd, Au 和 Ag 等元素而引起关注,对其地球化学特征、沉积环境和元素富集因素的研究认为:这些金属元素的富集是还原环境、粘土强烈吸附和生物作用的结果^[1];多元素富集层为

还原环境下的海相沉积,源岩具多样性^[2];稀土富集与粘土吸附和生物作用有关^[3];Ba 元素的富集为生物化学沉积的结果^[4]。地处扬子地台东南缘的浙江省下寒武统黑色岩系(荷塘组)为特殊的沉积环境的产物,许多矿产资源与黑色岩系关系密切^[5],地球化学特征和有关元素富集因素的研究,对矿产资源勘查评价具有十分重要的意义。根据浙江省黑色岩系(荷塘组)分布特点,选择底本、中州、江龙和

收稿日期:2009-10-12; 改回日期:2010-03-08

基金项目:浙江省国土资源厅科技项目(2003006)

作者简介:钱建民,男,49岁,教授级高级工程师(博士),矿床学专业,研究方向:矿产勘查。

上壁 4 个剖面,对其稀土地球化学特征进行研究,以探讨荷塘期的沉积环境和元素富集因素。

1 地质概况

以江山-绍兴拼接带为界(图 1),浙江被一分为二,此带以北称为浙西北区,以南称为浙东南区。浙西北处于扬子地台的东南缘,前震旦系为中基性-酸性火山岩、复理石及磨拉石、陆相火山岩系。震旦系主要为陆架——台地相类复理石、冰成岩、镁质碳酸盐岩岩系,寒武系则以海湾相含碳硅质岩、泥岩和台地碳酸盐岩岩系为主,奥陶系主要为陆架含硅、钙质碎屑岩、碎屑岩,志留系为陆架-三角洲相碎屑岩岩系,泥盆系为滨海单陆屑岩系,石炭系为碎屑岩系和台地碳酸盐岩岩系,二叠系为台地碳酸盐岩岩系和含煤碎屑岩岩系,中下三叠统为台地碳酸盐岩岩系。

浙东南区为元古界的变质岩系,以高绿片岩相强烈花岗岩质混合岩化区域变质岩和角闪岩相变质的基性火山岩-沉积岩类为主。

浙江省黑色岩系(荷塘组)呈北东 45°~50°方向展布,长约 400 km,宽约 50 km,分布与扬子地台东南缘的浙西北,沉积厚度南东往北西逐渐变厚,靠近皖南-赣西,沉积厚度达数百米。岩石以灰黑色及黑色的页岩、碳质页岩、硅质页岩为主,其次为硅岩,含石煤和少量透镜体或薄层状碳酸盐岩,底部磷酸盐岩结核或磷块岩。V, Mo, Ag, Se 等在碳质高的泥岩、硅质泥岩及含磷层中富集,局部地段形成共(伴)生矿。地层含黄铁矿,岩石粒度细,水平微细纹层发育,为静水、低能和滞流的沉积环境。皖南-赣西古陆、浙西北陆棚边缘盆地、浙东南古陆的古地理特征,造就了静水滞流海盆和平缓斜坡的特殊沉积环境(图 1)。

2 典型剖面稀土元素测试分析

研究选取开化底本、淳安中州、安吉上墅、诸暨江龙 4 个的剖面,以连续刻线的方式,采集岩屑样品 36 件进行稀土元素测定,样品测试由国土资源武汉综合岩矿测试中心承担,分析仪器为电感耦合等离子质谱仪(Thermo Elemental X7)。球粒陨石引用 Wakita *et al* (1971) 的数据,北美页岩引用 Haskin L A (1984) 的数据^[6]。

2.1 底本剖面

在剖面中采样分析 9 件样品(图 2)。样品稀土总量 $77.11 \times 10^{-6} \sim 156.94 \times 10^{-6}$, 平均 109.65×10^{-6} ; 轻重稀土比值 3.06~5.77, 平均 4.57; δEu 值 0.62~0.70, 平均 0.67; δCe 值 0.52~0.67, 平均

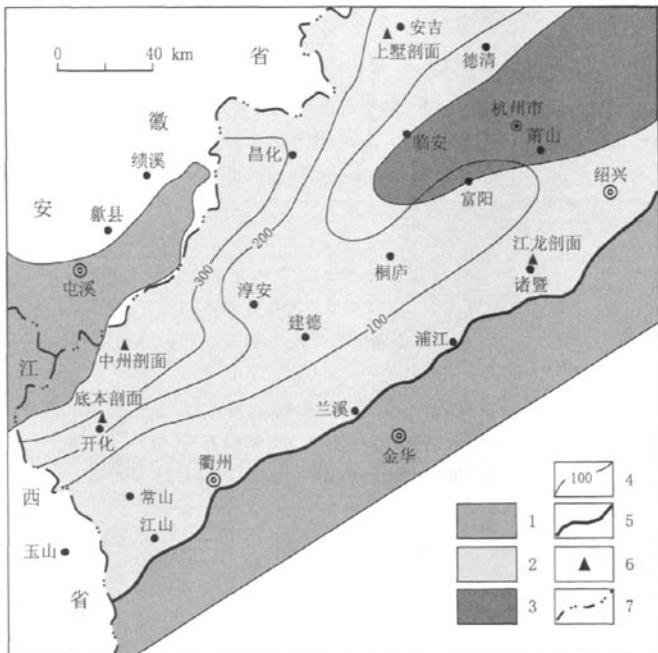


图 1 荷塘期岩相古地理图(据浙江省地质矿产局,1996 修改^[7])
1. 古陆; 2. 硅质泥岩-硅质岩相; 3. 硅质泥岩-泥岩夹灰岩相; 4. 地层厚度等值线; 5. 江山-绍兴拼接带; 6. 剖面位置; 7. 省界
Fig. 1 Lithofacies and paleogeographic map of Hetang Formation(after Regional Geology of Zhejiang Province)^[7]

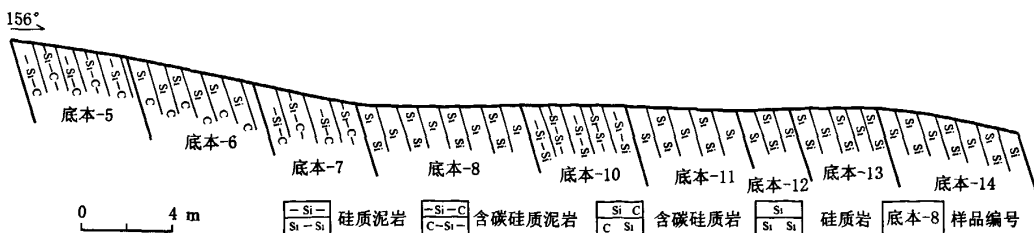


图 2 底本地质剖面图
Fig. 2 Geological profile of Diben

0.58; $(La/Yb)_N$ 值 7.16~13.90, 平均 10.46; $(La/Sm)_N$ 值 15.69~21.99, 平均 18.43; $(Gd/Lu)_N$ 值 0.58~1.31, 平均 0.91(表 1)。

稀土元素球粒陨石标准化分布形式为右倾的“L”型, 尾端微上扬, 北美页岩标准化分布形式为靠近 1 的平缓下弓型(图 3)。

稀土元素的特征是轻重稀土、轻稀土分馏作用

明显, 轻稀土较富集, 重稀土分馏作用不明显; 明显的 δEu , δCe 异常。

2.2 中洲剖面

剖面共采样分析 10 件样品(图 4)。样品稀土总量 $69.59 \times 10^{-6} \sim 156.55 \times 10^{-6}$, 平均 104.41×10^{-6} ; 轻重稀土比值 3.40~5.07, 平均 4.05; δEu 值 0.56~0.65, 平均 0.56; δCe 值 0.76~0.88, 平均

表 1 底本剖面稀土元素分析数据. $w(B)/10^{-6}$
Table 1 Analyses of REE of cherts form the cross section of Diben (in $[\times 10^{-6}]$)

样品编号	底本-5	底本-6	底本-7	底本-8	底本-10	底本-11	底本-12	底本-13	底本-14	平均值
岩 性	含碳硅质泥岩	含碳硅质岩	含碳硅质泥岩	硅质岩	硅质泥岩	硅质岩	硅质岩	硅质岩	硅质岩	
La	40.39	26.93	31.9	24.01	29.89	18.25	24.08	29.09	25.06	27.73
Ce	51.27	37.41	42.6	28.11	39.19	22.69	29.18	30.5	26.86	34.2
Pr	8.42	5.37	6.6	5.18	6.02	4.09	5.01	5.06	4.9	5.63
Nd	28.52	19.14	21.16	17.53	20.54	13.15	16.77	17.53	16.41	18.97
Sm	4.31	3.01	3.18	2.88	3.16	1.87	2.57	2.49	2.24	2.86
Eu	0.86	0.58	0.58	0.59	0.55	0.35	0.5	0.45	0.41	0.54
Gd	3	1.88	1.9	2.26	2.08	1.24	1.94	1.6	1.51	1.93
Tb	0.44	0.29	0.31	0.42	0.34	0.26	0.3	0.28	0.26	0.32
Dy	2.51	1.82	1.91	2.59	2.04	1.57	1.81	1.65	1.64	1.95
Ho	0.55	0.41	0.44	0.58	0.47	0.38	0.4	0.39	0.41	0.45
Er	1.65	1.32	1.44	1.78	1.47	1.24	1.19	1.28	1.32	1.41
Tm	0.28	0.25	0.27	0.31	0.27	0.24	0.21	0.23	0.25	0.26
Yb	1.88	1.68	1.9	2.1	1.75	1.65	1.31	1.57	1.71	1.73
Lu	0.3	0.26	0.32	0.33	0.28	0.28	0.21	0.25	0.29	0.28
Y	12.56	10.41	11.18	15.2	12.3	9.85	10.21	10.09	10.74	11.39
REE	156.94	110.76	125.69	103.87	120.35	77.11	95.69	102.46	94.01	109.65
LREE/HREE	5.77	5.05	5.39	3.06	4.73	3.61	4.44	4.91	4.19	4.57
δEu	0.7	0.7	0.67	0.69	0.62	0.67	0.66	0.65	0.65	0.67
δCe	0.6	0.67	0.63	0.54	0.63	0.57	0.57	0.53	0.52	0.58
$(La/Yb)_N$	13.9	10.37	10.86	7.4	11.05	7.16	11.89	11.99	9.48	10.46
$(La/Sm)_N$	17.64	16.84	18.88	15.69	17.8	18.37	17.64	21.99	21.06	18.43
$(Gd/Lu)_N$	1.31	0.95	0.78	0.9	0.97	0.58	1.21	0.84	0.68	0.91

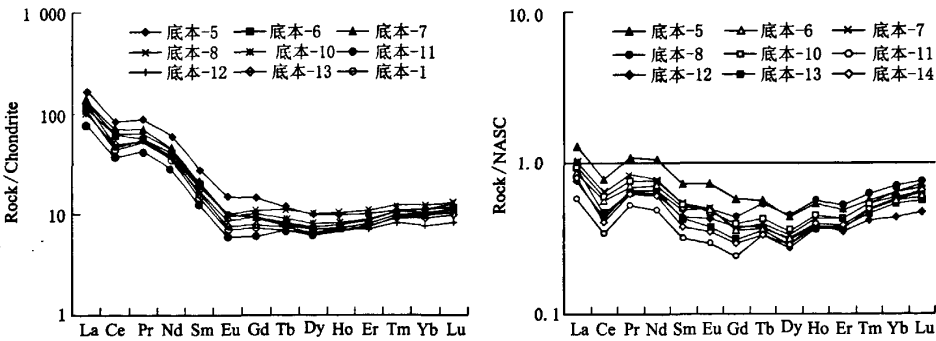


图 3 底本剖面稀土元素球标准化分布形式图
Fig. 3 Normalized REE patterns for the rocks from the cross section of Diben

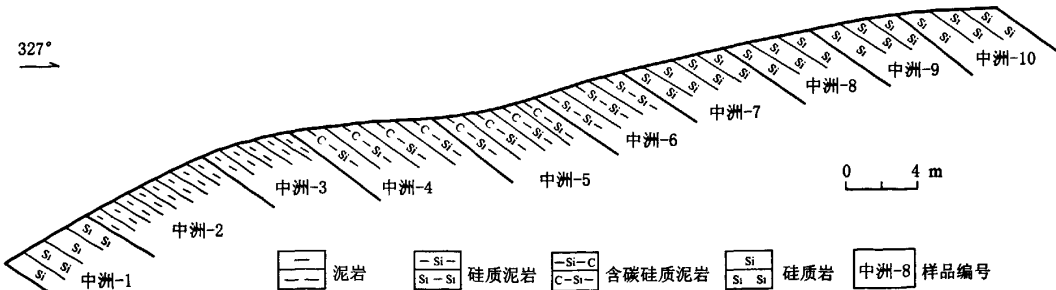


图 4 中洲地质剖面图
Fig. 4 Geological profile of Zhongzhou

0.85; $(La/Yb)_N$ 值 8.38~13.43, 平均 9.95; $(La/Sm)_N$ 值 13.03~17.83, 平均 14.93; $(Gd/Lu)_N$ 值 1.15~1.41, 平均 1.30(表 2)。

稀土元素球粒陨石标准化分布形式为右倾的“L”型, 北美页岩标准化分布形式为平直舒缓波动型(图 5)。

稀土元素的特征是轻、重稀土分馏作用明显, 轻稀土较富集, 轻稀土内部分馏作用明显; 重稀土分馏作用不明显; 明显的 δEu 异常和弱的 δCe 异常。

2.3 上墅剖面

本剖面采样 11 件样品, 其中碳质硅质岩 6 件, 高碳泥岩(石煤)3 件, 含钼钒高碳泥岩 2 件(图 6)。

表 2 中洲剖面稀土元素分析数据. $w(B)/10^{-6}$
Table 2 Analyses of REE of cherts form section of Zhongzhou (in $[\times 10^{-6}]$)

样品编号	中洲-1	中洲-2	中洲-3	中洲-4	中洲-5	中洲-6	中洲-7	中洲-8	中洲-9	中洲-10	平均值
岩性层	硅质岩	泥质	含碳硅质泥岩	硅质泥岩	硅质岩						
La	16.15	21.25	22.16	26.78	29.33	21.55	17.72	14.63	26.99	16.33	21.29
Ce	29.29	35.28	39.87	49.41	58.71	41.65	30.98	27.21	46.64	30.85	38.99
Pr	3.42	4.85	4.6	5.45	6.51	4.98	4.1	3.1	5.39	3.58	4.6
Nd	11.58	16.89	15.77	18.36	22.41	17.09	13.59	10.89	18.21	12.48	15.73
Sm	2.19	3.07	2.59	3.19	4	2.88	2.18	1.72	2.85	2.17	2.68
Eu	0.33	0.5	0.48	0.5	0.67	0.47	0.4	0.28	0.46	0.37	0.45
Gd	1.64	2.51	1.82	2.55	3.37	2.21	1.76	1.29	2	1.57	2.07
Tb	0.25	0.41	0.31	0.45	0.59	0.38	0.3	0.21	0.33	0.26	0.35
Dy	1.47	2.51	1.82	2.71	3.51	2.24	1.88	1.23	2.01	1.61	2.1
Ho	0.32	0.55	0.41	0.58	0.76	0.48	0.42	0.28	0.45	0.35	0.46
Er	0.93	1.55	1.17	1.68	2.19	1.44	1.25	0.77	1.29	1.04	1.33
Tm	0.16	0.26	0.2	0.28	0.36	0.24	0.21	0.14	0.2	0.18	0.22
Yb	1.03	1.64	1.26	1.74	2.16	1.51	1.3	0.82	1.3	1.08	1.38
Lu	0.16	0.25	0.2	0.26	0.32	0.23	0.2	0.12	0.19	0.15	0.21
Y	8.68	14.37	10.16	17.62	21.66	13.33	11.44	6.9	12.06	9.32	12.55
REE	77.6	105.89	102.82	131.56	156.55	110.68	87.73	69.59	120.37	81.34	104.41
LREE/HREE	4.3	3.4	4.93	3.72	3.48	4.02	3.68	4.92	5.07	4.23	4.05
δEu	0.52	0.54	0.65	0.52	0.55	0.55	0.61	0.56	0.56	0.59	0.56
δCe	0.85	0.76	0.85	0.88	0.92	0.88	0.79	0.87	0.83	0.87	0.85
$(La/Yb)_N$	10.15	8.38	11.38	9.96	8.79	9.23	8.82	11.54	13.43	9.78	9.95
$(La/Sm)_N$	13.88	13.03	16.11	15.8	13.8	14.08	15.3	16.01	17.83	14.17	14.93
$(Gd/Lu)_N$	1.34	1.31	1.19	1.28	1.38	1.26	1.15	1.41	1.38	1.37	1.3

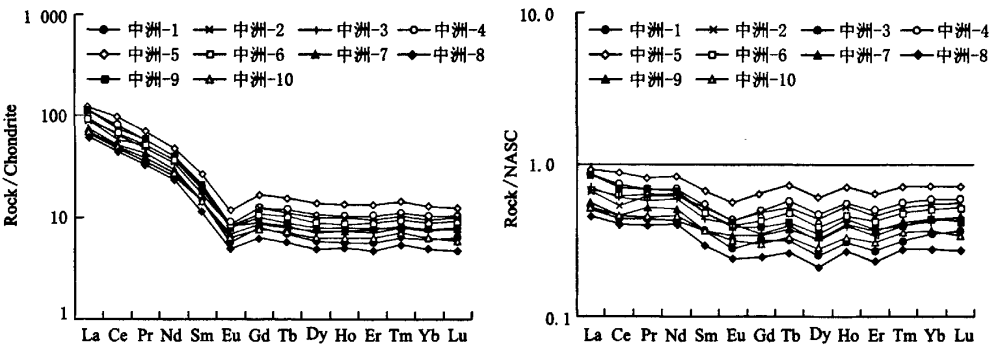


图 5 中洲剖面稀土元素球准化分布形式图
Fig. 5 Normalized REE patterns for the rock from section of Zhongzhou

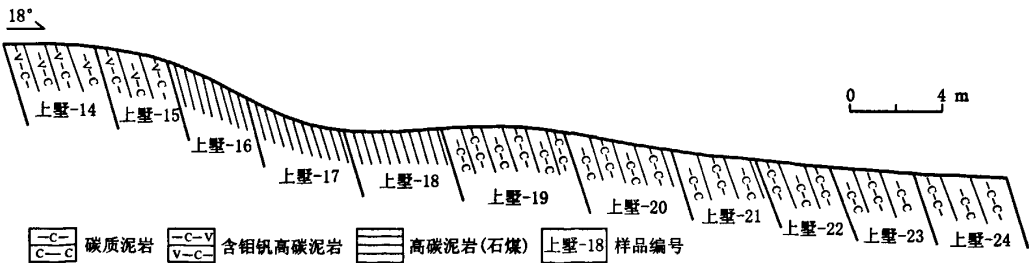


图 6 上墅地质剖面图
Fig. 6 Geological profile of Shangshu

含钼钒高碳泥岩:稀土总量 $233.43 \times 10^{-6} \sim 258.95 \times 10^{-6}$, 平均 246.19×10^{-6} ; 轻重稀土比值 $1.02 \sim 1.15$, 平均 1.08 ; δEu 值 $0.61 \sim 0.77$, 平均 0.69 ; δCe 值 $0.48 \sim 0.52$, 平均 0.50 ; $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值 $4.52 \sim 4.78$, 平均 4.65 ; $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 值 $9.10 \sim 10.00$, 平均 9.55 ; $(\text{Gd}/\text{Lu})_{\text{N}}$ 值 $1.55 \sim 1.73$, 平均 1.64 。

高碳泥岩(石煤):稀土总量 $124.74 \times 10^{-6} \sim 178.32 \times 10^{-6}$, 平均 144.70×10^{-6} ; 轻重稀土比值 $1.13 \sim 1.64$, 平均 1.35 ; δEu 值 $0.61 \sim 0.81$, 平均 0.70 ; δCe 值 $0.45 \sim 0.69$, 平均 0.59 ; $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值 $5.32 \sim 8.59$, 平均 6.64 ; $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 值 $13.05 \sim 17.44$, 平均 14.52 ; $(\text{Gd}/\text{Lu})_{\text{N}}$ 值 $1.41 \sim 1.53$, 平均 1.47 。

碳质泥岩:稀土总量 $73.77 \times 10^{-6} \sim 110.12 \times 10^{-6}$, 平均 89.15×10^{-6} ; 轻重稀土比值 $1.30 \sim$

1.62 , 平均 1.47 ; δEu 值 $0.64 \sim 0.75$, 平均 0.71 ; δCe 值 $0.63 \sim 0.72$, 平均 0.68 ; $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值 $6.35 \sim 10.24$, 平均 8.39 ; $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 值 $12.84 \sim 18.55$, 平均 15.38 ; $(\text{Gd}/\text{Lu})_{\text{N}}$ 值 $1.43 \sim 2.27$, 平均 1.67 (表 3)。

稀土元素球粒陨石标准化分布形式为较缓的右倾“L”型, 北美页岩标准化分布形式为 1 水平线上下的波状平缓型, 其中钒矿层高于 1 水平线(图 7)。

稀土元素的特征是轻重稀土分馏作用较明显, 轻重稀土相近, 轻稀土内部分馏作用明显, 重稀土分馏作用不明显; 明显的 δEu , δCe 异常。

2.4 江龙剖面

剖面共采样分析 6 件样品(图 8), 样品稀土总量 $92.33 \times 10^{-6} \sim 126.55 \times 10^{-6}$, 平均 113.00×10^{-6} ; 轻重稀土比值 $3.76 \sim 4.45$, 平均 4.17 ; δEu 值 $0.56 \sim 0.66$, 平均 0.62 ; δCe 值 $0.76 \sim 0.88$, 平均

表 3 上墅剖面稀土元素分析数据. $w(\text{B})/10^{-6}$
Table 3 Analyses of REE of cherts form section of Shangshu (in $[\times 10^{-6}]$)

样品编号	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	平均值			
岩性	钒矿层			石煤			碳质泥岩						钒矿层	石煤	碳质页岩
La	38.42	34.97	21.22	21.53	33.72	15.84	12	15.89	15.62	20.41	17.34	36.7	25.49	16.8	
Ce	41.82	37.58	19.9	28.66	45.99	22.19	16.4	21.36	21.69	26.13	20.23	39.7	31.52	21.33	
Pr	7.9	8.38	4.18	4.2	5.64	2.53	2.31	2.48	2.69	3.38	2.35	8.14	4.67	2.62	
Nd	33.74	34.44	16.8	15.73	20.93	10.02	8.82	10.27	10.72	14.72	8.94	34.09	17.82	10.58	
Sm	7.23	7.23	3.06	3.1	3.64	1.86	1.72	1.96	1.93	2.72	1.76	7.23	3.27	1.99	
Eu	1.6	2.04	0.95	0.76	0.81	0.42	0.45	0.47	0.49	0.7	0.43	1.82	0.84	0.49	
Gd	9.11	9.27	4.32	3.83	4.32	2.16	2.11	2.22	2.28	3.12	1.75	9.19	4.16	2.27	
Tb	1.49	1.41	0.66	0.61	0.7	0.35	0.33	0.36	0.37	0.46	0.3	1.45	0.66	0.36	
Dy	9.45	8.97	4.32	4.14	4.65	2.23	2.09	2.37	2.26	2.82	1.91	9.21	4.37	2.28	
Ho	2.18	1.98	1.02	0.97	1.1	0.54	0.5	0.56	0.53	0.63	0.46	2.08	1.03	0.54	
Er	6.32	5.57	2.97	2.76	3.18	1.56	1.41	1.58	1.45	1.7	1.35	5.95	2.97	1.5	
Tm	0.94	0.81	0.45	0.4	0.48	0.23	0.2	0.22	0.2	0.24	0.2	0.88	0.44	0.21	
Yb	5.5	4.73	2.58	2.32	2.54	1.34	1.21	1.32	1.19	1.29	1.15	5.11	2.48	1.25	
Lu	0.77	0.7	0.4	0.34	0.37	0.19	0.17	0.2	0.17	0.18	0.16	0.73	0.37	0.17	
Y	92.48	75.35	41.91	41.7	50.25	28.36	24.05	27.56	26.55	31.62	25.88	83.92	44.62	27.33	
REE	258.95	233.43	124.74	131.05	178.32	89.82	73.77	88.82	88.14	110.12	84.21	246.19	144.7	89.14	
LREE/HREE	1.02	1.15	1.13	1.3	1.64	1.43	1.3	1.44	1.52	1.62	1.54	1.08	1.35	1.47	
δEu	0.61	0.77	0.81	0.68	0.63	0.64	0.73	0.69	0.72	0.74	0.75	0.69	0.7	0.71	
δCe	0.52	0.48	0.45	0.64	0.69	0.72	0.66	0.7	0.7	0.65	0.63	0.5	0.6	0.67	
(La/Yb) _N	4.52	4.78	5.32	6	8.59	7.65	6.42	7.79	8.49	10.24	9.76	4.65	6.64	8.39	
(La/Sm) _N	10	9.1	13.05	13.07	17.44	16.03	13.13	15.26	15.23	14.12	18.55	9.55	14.52	15.39	
(Gd/Lu) _N	1.55	1.73	1.41	1.47	1.53	1.49	1.62	1.45	1.75	2.27	1.43	1.64	1.47	1.67	

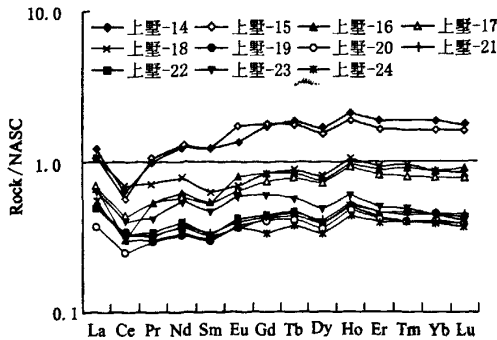
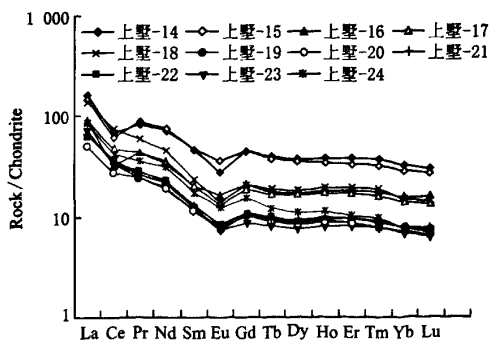


图 7 上墅剖面稀土元素标准化分布形式图

Fig. 7 Normalized REE patterns for the rock from section of Shangshu

0.82; $(La/Yb)_N$ 值 9.49~11.23, 平均 10.53; $(La/Sm)_N$ 值 12.20~17.73, 平均 13.84; $(Gd/Lu)_N$ 值 1.08~1.84, 平均 1.57(表 4)。

岩石稀土元素球粒陨石标准化分布形式为右倾的“L”型, 金属层稀土元素球粒陨石标准化分布形式为右倾型; 岩石北美页岩标准化的稀土元素分布形式为低于 1 的波状平缓的微右倾型(图 9)。

表 4 江龙剖面稀土元素分析数据. $w(B)/10^{-6}$

Table 4 Analyses of REE of cherts form section of Jianglong (in $[\times 10^{-6}]$)

样品编号	1	2	3	4	5	6	平均值
岩性层	硅质泥岩	碳质泥岩	碳质泥岩	碳质泥岩	硅质泥岩	碳质泥岩	
La	21.66	22.15	24.12	25.91	18.5	25	22.89
Ce	35.43	41.99	45.68	45.34	32.9	46.05	41.23
Pr	4.69	4.87	5.66	5.78	4.44	5.43	5.15
Nd	15.01	17.82	20.92	20.14	16.24	19.83	18.33
Sm	2.3	3.38	3.72	3.4	2.71	3.42	3.16
Eu	0.41	0.68	0.72	0.64	0.44	0.62	0.59
Gd	1.74	2.84	3.1	2.84	1.98	2.62	2.52
Tb	0.31	0.48	0.52	0.46	0.32	0.43	0.42
Dy	1.86	2.67	2.75	2.77	1.78	2.39	2.37
Ho	0.41	0.54	0.56	0.58	0.37	0.51	0.5
Er	1.2	1.53	1.51	1.63	1.07	1.41	1.39
Tm	0.21	0.24	0.24	0.27	0.17	0.23	0.23
Yb	1.36	1.51	1.42	1.64	1.09	1.44	1.41
Lu	0.21	0.22	0.22	0.25	0.16	0.2	0.21
Y	10.64	14.16	14.69	14.9	10.16	13.3	12.98
REE	97.44	115.08	125.83	126.55	92.33	122.88	113.35
LREE/HREE	4.43	3.76	4.03	3.99	4.4	4.45	4.15
δEu	0.61	0.66	0.64	0.62	0.56	0.62	0.62
δCe	0.76	0.88	0.85	0.8	0.79	0.85	0.82
$(La/Yb)_N$	10.31	9.49	10.99	10.22	10.98	11.23	10.5
$(La/Sm)_N$	17.73	12.34	12.2	14.34	12.85	13.76	13.66
$(Gd/Lu)_N$	1.08	1.69	1.84	1.49	1.62	1.71	1.57

岩石稀土元素的特征是轻稀土较富集, 轻重稀土、轻稀土分馏作用明显, 重稀土分馏作用不明显, 明显的 δEu 负异常和弱的 δCe 负异常。

3 荷塘组黑色岩系地球化学特征及其异常机理分析

上述 4 个剖面分析结果可以看出荷塘组黑色岩系地球化学有如下特点:

(1) 稀土在含钼钒高碳泥岩中明显富集, 稀土总量平均达 246.19×10^{-6} , 高碳泥岩(石煤)次之, 稀土总量平均为 144.70×10^{-6} , 其他岩石稀土元素总量平均只有 108.23×10^{-6} , 含钼钒高碳泥岩和高碳泥岩(石煤)轻、重稀土总量相近(轻、重稀土比值平均为 1.08, 1.34), 其他岩石轻稀土明显富集(轻、重稀土比值平均为 3.71)(表 5)。

(2) 球粒陨石标准化稀土分布形式为右倾的“L”型, 北美页岩标准化的稀土元素分布形式为波状平缓型, 其中含钼钒高碳泥岩高于 1 水平线上方, 高碳泥岩(石煤)接近 1 水平线, 其他岩石明显低于 1 水平线(图 10)。

(3) 轻、重稀土分馏作用和轻稀土分馏作用明显, 重稀土分馏作用不明显; 铕、铈负异常, 但含钼钒高碳泥岩明显的铈负异常(δCe 平均值为

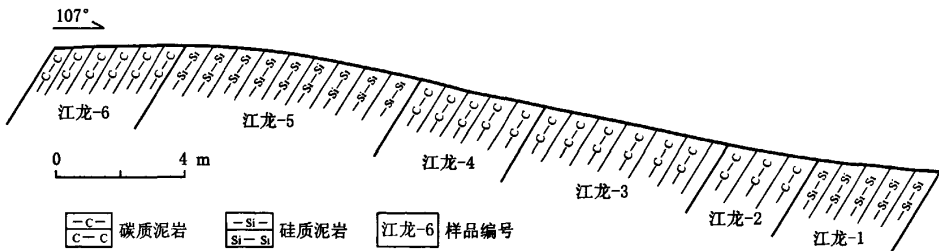


图 8 江龙地质剖面图
Fig. 8 Geological profile of Jianglong

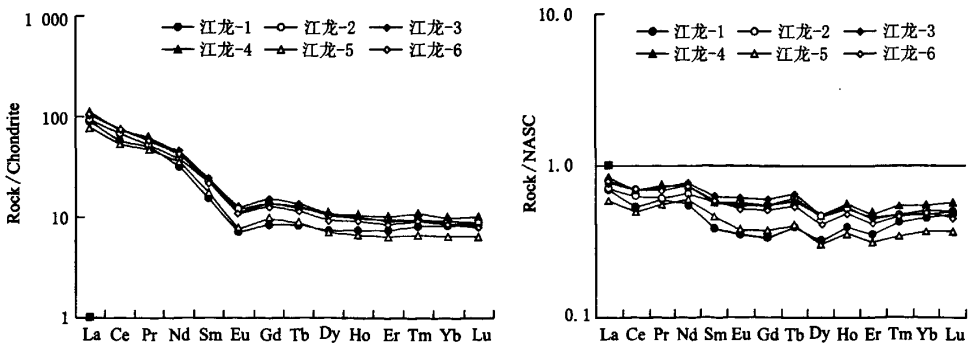


图 9 江龙剖面稀土元素标准化分布形式图
Fig. 9 Normalized REE patterns for the rock from section of Jianglong

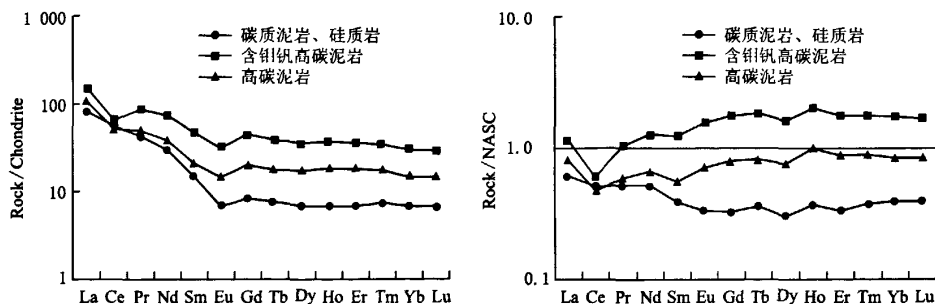


图 10 稀土元素标准化分布形式图

Fig. 10 Normalized REE patterns for the rock from Hetang

0.50),高碳泥岩(石煤)次之(δCe 平均值为 0.60),而其他岩石的 δCe 平均值 0.73(表 5)。

表 5 荷塘组岩石稀土元素分析数据。 $w(\text{B})/10^{-6}$

Table 5 Analyses of REE of cherts form rock of Hetang Formation (in $\times 10^{-6}$)

岩性	碳质泥岩、硅质岩	含钼钒高碳泥岩	高碳泥岩
样品数/个	31	2	3
La	22.86	36.7	25.49
Ce	34.97	39.7	31.52
Pr	4.76	8.14	4.67
Nd	16.98	34.09	17.82
Sm	2.95	7.23	3.27
Eu	0.58	1.82	0.84
Gd	2.46	9.19	4.16
Tb	0.4	1.45	0.66
Dy	2.37	9.21	4.37
Ho	0.51	2.08	1.03
Er	1.47	5.95	2.97
Tm	0.24	0.88	0.44
Yb	1.5	5.12	2.48
Lu	0.23	0.74	0.37
Y	15.94	83.92	44.62
REE	108.23	246.19	144.7
LREE/HREE	3.71	1.08	1.35
δEu	0.64	0.69	0.7
δCe	0.73	0.5	0.6
$(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$	9.74	4.65	6.64
$(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$	14.43	9.55	14.52
$(\text{Gd}/\text{Lu})_{\text{N}}$	1.4	1.64	1.47

稀土元素 La 到 Lu 被粘土吸附的能力减少^[8]导致荷塘组黑色岩系轻稀土的富集。Eu 异常的产生主要取决于 Eu^{2+} - Eu^{3+} 平衡,在较高温热液蚀变过程中,Eu 相对于其他稀土元素可能发生显著分馏^[9],热水沉积形成的硅质岩、泥岩与硫化物其 REE 配分模式具有明显的 Eu 的正异常,热水作用是引起海水沉积物 Eu 正异常的主要原因^[10],表明本区沉积时无热水作用。赵振华(1993)认为活动大陆边缘的沉积物富重稀土,无 Eu 亏损,被动大陆边缘的沉积物相对富轻稀土,Eu 负异常^[11],由此来看,研究区沉积构造环境为被动大陆边缘。Ce 是变价元素,除呈 Ce^{3+} 外,在氧化条件下 Ce^{3+} 可变成 Ce^{4+} 。

在干燥气候条件下,Ce 的迁移能力低,导致沉积海盆中 Ce 的亏损,进而沉积岩中出现 Ce 的负异常^[9]。本区 $\delta\text{Ce}=0.50\sim 0.73$,铈为负异常,反映黑色岩系形成于干燥气候条件。盆地近岸沉积物相对富集 LREE 和中稀土元素,而远离岸处沉积物相对富集 HREE,亏损 Ce 是多数海相沉积物的普遍特征,而且由盆地边缘到中心,沉积物中 Ce 的亏损程度增加;在大地构造背景相对稳定的条件下,同一位置沉积物中稀土元素组成的这种差异,应是海平面升降引起古地理环境变迁的结果^[14]。诸暨江龙、淳安中洲、开化底本轻稀土富集,铈负异常表明为近岸的盆边沉积环境;安吉上墅相对富集重稀土,明显的负铈异常,为远岸的沉积环境。荷塘组黑色岩系不同地点、不同岩石稀土元素的总量虽然有差别,但标准化后的分布形式相似,表明沉积物来源区和沉积环境基本相近;含钼钒高碳泥岩具有更明显的负铈异常,表明远岸海水具有自上而下分为氧化的(O_2)、缺氧的(少 O_2)、滞流的(无 O_2 , 富 H_2S)3 种水体特殊分层^[15],稀土元素及 V、Mo 等金属元素在表生氧化情况下,主要被胶体和有机质吸附,呈悬浮状态搬运至近海;燥热的气候,藻类繁盛,藻类富集海水中的稀土和 V、Mo 等金属元素,死亡后沉入海底,在富 H_2S 环境中,稀土元素和 V、Mo 等金属元素活性急剧下降,形成富稀土元素、V、Mo 等金属元素和有机质的高碳泥岩。

4 结 语

荷塘组黑色稀土元素轻重稀土,轻稀土分馏作用明显,轻稀土较富集,重稀土分馏作用不明显, δEu 、 δCe 负异常;稀土元素球粒陨石标准化分布形式为右倾的“L”型,北美页岩标准化分布形式为平直舒缓波动型。上述地球化学特征说明浙江一带寒武纪荷塘期大地构造环境为被动大陆边缘,沉积环

境为干燥气候的还原环境,没有受热水作用的影响。 燥热的气候、局部滞留,造成浅部氧化、深部缺氧环境,使稀土元素及 V, Mo 等金属元素富集。

参考文献

- [1] 鲍振襄. 湖南西北部黑色岩系中的贵金属矿化[J]. 矿物岩石, 1997, (02): 71-78.
- [2] 江永宏, 李胜荣. 贵州遵义下寒武统黑色岩系型 Ni, Mo 矿床 Rb-Sr 同位素年与示踪研究[J]. 矿物岩石, 2005, (01): 62-66.
- [3] 张 杰, 张 覃, 陈代良. 贵州织金新华含稀土磷矿床稀土元素地球化学及生物成矿基本特征[J]. 矿物岩石, 2003, (03): 35-38.
- [4] 高怀忠. 中国早寒武世重晶石及毒重石矿床的生物化学沉积成矿模式[J]. 矿物岩石, 1998, (02): 71-78.
- [5] 刘家军, 杨 丹, 柳振江, 等. 南秦岭锁成矿带中硫钒铜矿的特征及意义[J]. 矿物岩石, 2008, (02): 44-50.
- [6] 韩吟文, 马振东, 张宏飞, 等. 地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 2003, 195-202.
- [7] 浙江省地质矿产局. 全国地层多重划分对比研究——浙江省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996.
- [8] 刘英俊, 曹励明, 李兆麟, 等. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1984, 194-215.
- [9] Sverjensky D M. Europium redox equilibrium in aqueous solutions. Earth Planet[J]. Sci Lettt, 1984, 67: 70-78.
- [10] Ruhlin D E, Owen R M. The rare earth element geochemistry of hydrothermal sediments from the East Pacific Rise: examination of a sea-water scavenging mechanism [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1986, 50: 393-400.
- [11] 赵振华. 锕地球化学特征的控制因素[J]. 南京大学学报(地球科学版), 1993, (5): 271-280.
- [12] 刘钦甫, 杨晓杰, 丁述理. 华北晚古生代煤系高岭岩微量元素和稀土元素地球化学研究[J]. 地球化学, 1998, 27(2): 196-203.
- [13] 于学元, 郑作平, 牛贺才, 等. 八卦庙大型金矿床稀土元素地球化学研究[J]. 地球化学, 1996, 25(2): 140-149.
- [14] 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [15] Leventhal J S. Comparison of organic geochemistry and metal enrichment in two black shale: Cambrian Alum Shale of Sweden and Devonian Chattanooga Shale of United States[J]. Mineralium Deposita, 1991, 26: 104-112.

STUDY ON THE GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF BLACK ROCK SERIES FROM THE HETANG FORMATION IN SOUTHEAST MARGIN OF YANGTZE PLATFORM

QIAN Jian-min^{1,2}, LI Hai-ting³, XU Yue-xing², YAO Li-ping³

1. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration of Zhejiang Province, Hangzhou 310005, China;

3. The No. 7 Geophysical Party of Zhejiang Province, Hangzhou 310005, China

Abstract: Systematic sampling, analysis and research in the typical cross section of the Hetang Formation reveal that the REE is enriched in the high carbon claystone with general contents of REE up to $233.43 \times 10^{-6} \sim 258.95 \times 10^{-6}$. As for other types of rocks, the general contents of REE ranges from 89.15×10^{-6} to 144.70×10^{-6} , displaying LREE enrichment with average (La/Yb)_N, (La/Sm)_N and (Gd/Lu)_N ratios of 4.65~10.89, 9.55~18.44 and 0.91~1.67, respectively. It also showed negative Eu and Ce anomalies with δEu and δCe values of 0.55~0.71 and 0.46~0.88 respectively. It was considered that the Hetang Formation was deposited in passive continental margin and a dry deoxidize environment. The difference of the REE in the stratum is result from different ancient geography and up and down of ancient sea-level.

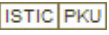
Key words: southeast margin of Yangtze platform; Zhejiang Province; black rock series; Hetang Formation; geochemistry

ISSN 1001-6872(2010)02-0095-08; CODEN: KUYAE2

Synopsis of the first author: Qian Jianmin, male, 49 years old, a senior engineer of mineral deposit. Now he is engaged in the research of mineral exploration.

作者: [钱建民](#), [李海亭](#), [徐岳行](#), [姚丽平](#), [QIAN Jian-min](#), [LI Hai-ting](#), [XU Yue-xing](#),
[YAO Li-ping](#)

作者单位: [钱建民, QIAN Jian-min\(中国地质大学\(武汉\), 湖北, 武汉, 430074; 浙江省地球物理地球化学
勘查院, 浙江, 杭州, 310005\)](#), [李海亭, 姚丽平, LI Hai-ting, YAO Li-ping\(浙江省第七地质
大队, 浙江, 杭州, 310005\)](#), [徐岳行, XU Yue-xing\(浙江省地球物理地球化学勘查院, 浙江, 杭
州, 310005\)](#)

刊名: [矿物岩石](#) 

英文刊名: [JOURNAL OF MINERALOGY AND PETROLOGY](#)

年, 卷(期): 2010, 30(2)

参考文献(15条)

1. [王中刚; 于学元; 赵振华](#) [稀土元素地球化学](#) 1989
2. [于学元; 郑作平; 牛贺才](#) [八卦庙大型金矿床稀土元素地球化学研究](#)[期刊论文]-[地球化学](#) 1996(02)
3. [刘钦甫; 杨晓杰; 丁述理](#) [华北晚古生代煤系高岭岩微量元素和稀土元素地球化学研究](#)[期刊论文]-[地球化学](#) 1998(02)
4. [鲍振襄](#) [湖南西北部黑色岩系中的贵金属矿化](#) 1997(02)
5. [Ruhlin D E; Owen R M](#) [The rare earth element geochemistry of hydrothermal sediments from the East
Padfic Rise: examination of a seawater scavenging mechanism](#)[外文期刊] 1986
6. [赵振华](#) [铀地球化学特征的控制因素](#) 1993(05)
7. [Svedensky D M](#) [Europium redox equilibrium in aqueous solutions](#) 1984
8. [刘英俊; 曹励明; 李兆麟](#) [元素地球化学](#) 1984
9. [浙江省地质矿产局](#) [全国地层多重划分对比研究—浙江省岩石地层](#) 1996
10. [韩吟文; 马振东; 张宏飞](#) [地球化学](#) 2003
11. [刘家军; 杨丹; 柳振江](#) [南秦岭钨成矿带中硫钨铜矿的特征及意义](#)[期刊论文]-[矿物岩石](#) 2008(02)
12. [高怀忠](#) [中国早寒武世重晶石及毒重石矿床的生物化学沉积成矿模式](#) 1998(02)
13. [张杰; 张覃; 陈代良](#) [贵州织金新华含稀土磷矿床稀土元素地球化学及生物成矿基本特征](#)[期刊论文]-[矿物岩石](#) 2003(03)
14. [江永宏; 李胜荣](#) [贵州遵义下寒武统黑色岩系型Ni, Mo矿床Rb-Sr同位素年与示踪研究](#)[期刊论文]-[矿物岩石](#) 2005(01)
15. [Leventhal J S](#) [Comparison of organic geochemistry and metal enrichment in two black shale: Cambrian
Alum Shale of Sweden and Devonian Chattanooga Shale of United States](#) 1991

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_kwys201002016.aspx